

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-49250

(P2003-49250A)

(43)公開日 平成15年2月21日 (2003.2.21)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

C 22 C 38/00

B 21 B 3/02

C 21 D 9/46

C 22 C 38/06

38/60

識別記号

3 0 3

5 0 1

F I

C 22 C 38/00

B 21 B 3/02

C 21 D 9/46

C 22 C 38/06

38/60

マーク\* (参考)

3 0 3 U 4 K 0 3 3

5 E 0 4 1

5 0 1 A

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 9 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号

特願2001-237388(P2001-237388)

(22)出願日

平成13年8月6日 (2001.8.6)

(71)出願人 000001258

川崎製鉄株式会社

兵庫県神戸市中央区北本町通1丁目1番28

号

(72)発明者 今村 猛

岡山県倉敷市水島川崎通1丁目 (番地なし)  
川崎製鉄株式会社水島製鉄所内

(72)発明者 早川 康之

岡山県倉敷市水島川崎通1丁目 (番地なし)  
川崎製鉄株式会社水島製鉄所内

(74)代理人 100072051

弁理士 杉村 興作 (外1名)

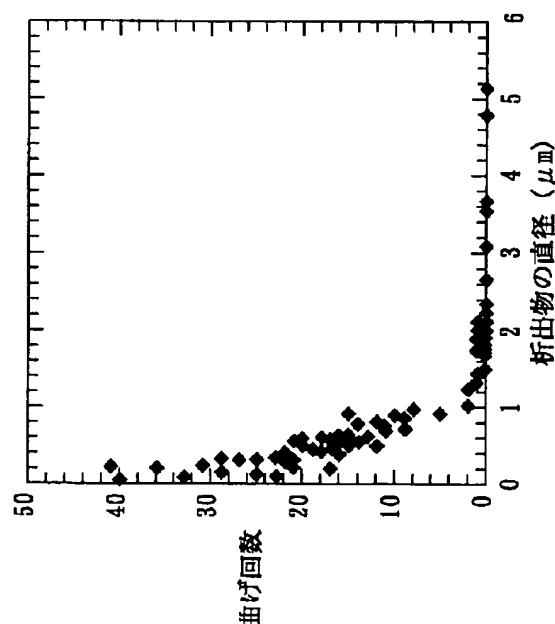
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 曲げ加工性に優れた方向性電磁鋼板およびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 インヒビター成分を有しない高純度材を素材とした場合に、鋼中のNに起因した曲げ加工性や鉄損の劣化を防止する。

【解決手段】 Si: 2.0 ~ 8.0 mass%、Mn: 3.0 mass% 以下、sol.Al: 10~100 ppm および N: 80 ppm 以下を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物の組成にすると共に、個数比で、鋼板中の窒化析出物の95%以上を直径: 1  $\mu\text{m}$  以下とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 Si : 2.0 ~ 8.0 mass%、  
 Mn : 3.0 mass%以下、  
 sol.Al : 10~100 ppm および  
 N : 80 ppm以下

を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物の組成になり、しかも個数比で、鋼板中の窒化物の95%以上が直径: 1 μm 以下で、かつ表面にフォルステライト( $Mg_2SiO_4$ )を主体とする下地被膜(グラス被膜)を有しないことを特徴とする、曲げ加工性に優れた方向性電磁鋼板。

【請求項2】 請求項1において、鋼板が、さらに Sbおよび/またはSn : 0.005 ~ 0.50 mass% を含有する組成になることを特徴とする、曲げ加工性に優れた方向性電磁鋼板。

【請求項3】 請求項1または2において、鋼板が、さらに

Ni : 0.005 ~ 1.50 mass%、  
 Cu : 0.01 ~ 0.50 mass%、  
 P : 0.005 ~ 0.50 mass% および

Cr : 0.01 ~ 1.50 mass%

のうちから選んだ一種または二種以上を含有する組成になることを特徴とする、曲げ加工性に優れた方向性電磁鋼板。

【請求項4】 Si : 2.0 ~ 8.0 mass%、

Mn : 3.0 mass%以下、  
 sol.Al : 10~100 ppm および  
 N : 50 ppm以下

を含有する組成になる鋼スラブを、熱間圧延したのち、1回または中間焼純を挟む2回以上の冷間圧延を施して最終板厚とし、ついで再結晶焼純および仕上焼純を施したのち、平坦化焼純を施し、その後絶縁コーティングを施す一連の工程によって方向性電磁鋼板を製造するに際し、

$MgO$ を含有しない焼純分離剤を塗布するか、または焼純分離剤を塗布することなしに、最高到達温度 800°C以上 950°C以下の条件で仕上焼純を施すことを特徴とする、曲げ加工性に優れた方向性電磁鋼板の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、変圧器や回転機の鉄心材料として好適な曲げ加工性に優れた方向性電磁鋼板およびその製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 電磁鋼板は、変圧器やモータ等の鉄心として広く用いられている材料であり、特に方向性電磁鋼板は、その結晶方位がGoss方位と呼ばれる {110} <001> 方位に高度に集積している。電磁鋼板に要求される特性のうち、特に鉄損特性は製品のエネルギー消費に直接つながる特性であるために重要視されている。ま

た、変圧器やモータの鉄心を作製する場合には、打ち抜きや剪断により所定の形状に加工されたり、その際に鋼板が湾曲部を有したラインを通過することから、打ち抜き加工性や曲げ加工性も重要である。

【0003】 方向性電磁鋼板では、通常、製造工程でフォルステライト質被膜と呼ばれる硬質のグラス被膜を形成し、さらに鋼板に張力を付与するために硬質のコーティングを施すことが一般的である。従って、方向性電磁鋼板は、打ち抜き加工性や曲げ加工性が共に劣り、鋼板剪断面にかえりが発生したり、打ち抜きのための金型が早期に磨耗したりすることが問題となっている。

【0004】 このため、加工性を重視した方向性電磁鋼板を製造する場合には、一度フォルステライト質被膜を形成した後に、酸洗や化学研磨、電解研磨等によってフォルステライト質被膜を除去する方法が古くから行われてきた。また、最近では、焼純分離剤の成分を変化させることによってフォルステライトを形成することなく、またはフォルステライト形成後速やかに分解させることによって、加工性の良い方向性電磁鋼板を製造する試みがなされている。

【0005】 例えば、特開昭60-39123号公報には、焼純分離剤の主成分として  $Al_2O_3$  を用い、フォルステライト質被膜の生成を阻止する方法が開示されている。また、特開平6-17137号公報には、焼純分離剤の主成分は  $MgO$  としながらも、Li, K, Na, Ba, Ca, Mg, Zn, Fe, Zr, Sn, Sr, Al 等の塩化物、炭酸塩、硝酸塩、硫酸塩および硫化物のうちから選んだ1種または2種以上を添加することによって、形成されたフォルステライト質被膜を分解する方法が開示されている。さらに、特開平7-18333号公報には、焼純分離剤中にビスマスの塩化物を 0.2 ~ 15 mass% 含有させ、かつ仕上焼純雰囲気の窒素分圧を 25 vol % 以上とすることによって、脱炭焼純時に形成された酸化膜を除去する方法が開示されている。

【0006】 しかしながら、上記の方法はいずれも、一旦はフォルステライト質被膜または  $SiO_2$  を主成分とする酸化膜を生成し、その後分解するという過程を経ており、また特殊な分離剤や助剤が必要であるため製造工程が煩雑にならざるを得ず、製造コストが増大するという欠点があった。

【0007】 この点、発明者らは、先に、インヒビター成分を含有しない高純度素材において、固溶窒素の粒界移動抑制効果を利用して二次再結晶を発現させる技術を、特開2000-129356号公報において提案し、さらにCを低減した成分を用い、再結晶焼純における雰囲気を低酸化性とすることによって、フォルステライト質被膜等の酸化性被膜の生成を抑制する技術を、特開2001-32021号公報において提案した。これらの技術により、フォルステライト質被膜を形成しない方向性電磁鋼板を安価に製造することができるようになった。

【0008】 しかしながら、このような方向性電磁鋼板

は、表面に酸化被膜がほとんど存在せず、雰囲気に対する保護性が低下しているため、平坦化焼鈍や歪取焼鈍時における焼鈍雰囲気の影響を大きく受け、鋼板の不純物元素の含有量が増大する可能性があった。特に、窒素を含有する雰囲気の場合には、地鉄中のSiと雰囲気中のNが反応して  $Si_3N_4$  を形成し、粗大な析出物として鋼板内に生成するため、これが鋼板の加工性、特に曲げ加工性に悪影響を与えていた。

【0009】従来、良好な曲げ加工性を得るために鋼板中のN含有量を10ppm以下にする必要があり、このため高温で焼鈍する純化焼鈍が必要であった。しかしながら、純化焼鈍を施すと、大幅なコスト増となり、またコイル状に巻取り、高温で焼鈍するため、コイルの自重により、コイルの地面と接している側の端部が歪むという製品欠陥が生じる問題があった。しかも、純化焼鈍によって鋼板中のN含有量を低減させても、その後の平坦化焼鈍や歪取焼鈍時に再窒化され、鋼板の曲げ加工性が劣化する点にも問題を残していた。

#### 【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記の問題を有利に解決するもので、曲げ加工性に優れ、かつ製造工程を煩雑化することなく経済的に製造することができる、フォルステライト質被膜を有しない方向性電磁鋼板を、その有利な製造方法と共に提案することを目的とする。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】さて、発明者らは、フォルステライト質被膜を有しない方向性電磁鋼板において、窒化による加工性の劣化を解消すべく鋭意研究を重ねた結果、微量のsol. Alを含有させることによって窒化による鋼板の曲げ加工性の劣化を効果的に抑制できるとの新規知見を得た。本発明は、上記の知見に立脚するものである。

#### 【0012】すなわち、本発明は、

1. Si : 2.0 ~ 8.0 mass%、Mn : 3.0 mass%以下、sol. Al : 10 ~ 100 ppm および N : 80 ppm以下を含有し、残部はFeおよび不可避の不純物の組成になり、しかも個数比で、鋼板中の窒化析出物の95%以上が直径 : 1  $\mu m$  以下で、かつ表面にフォルステライト( $Mg_2SiO_4$ )を主体とする下地被膜(グラス被膜)を有しないことを特徴とする、曲げ加工性に優れた方向性電磁鋼板。

【0013】2. 上記1において、鋼板が、さらにSbおよび/またはSn : 0.005 ~ 0.50 mass%を含有する組成になることを特徴とする、曲げ加工性に優れた方向性電磁鋼板。

【0014】3. 上記1または2において、鋼板が、さらにNi : 0.005 ~ 1.50 mass%、Cu : 0.01 ~ 0.50 mass%、P : 0.005 ~ 0.50 mass%およびCr : 0.01 ~ 1.50 mass%のうちから選んだ一種または二種以上を含有する組成になることを特徴とする、曲げ加工性に優れた方向性電磁鋼

板。

【0015】4. Si : 2.0 ~ 8.0 mass%、Mn : 3.0 mass%以下、sol. Al : 10 ~ 100 ppm および N : 50 ppm以下を含有する組成になる鋼スラブを、熱間圧延したのち、1回または中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延を施して最終板厚とし、ついで再結晶焼鈍および仕上焼鈍を施したのち、平坦化焼鈍を施し、その後絶縁コーティングを施す一連の工程によって方向性電磁鋼板を製造するに際し、MgOを含有しない焼鈍分離剤を塗布するか、または焼鈍分離剤を塗布することなしに、最高到達温度 800°C 以上 950°C以下の条件で仕上焼鈍を施すことを特徴とする、曲げ加工性に優れた方向性電磁鋼板の製造方法。

#### 【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明を成功に到らしめた実験に基づき説明する。sol. Alを含有しないまたはsol. Al含有量が約50 ppmで、Nを種々の範囲で含有する鋼スラブを、連続鋳造にて製造したのち、1200°Cで20分加熱後、熱間圧延により板厚 : 2.8 mmの熱延板とした、ついで 900°Cで60秒の熱延板焼鈍後、冷間圧延により0.35mmの最終板厚に仕上げたのち、乾燥窒素雰囲気中にて 925 °C、10秒の再結晶焼鈍を施し、その後焼鈍分離剤を塗布することなく乾燥窒素雰囲気中にて 900°C、75時間の仕上焼鈍を施した。かくして得られた鋼板の曲げ加工性を評価するために、30×300mmのサイズに剪断した試料を用いて、繰り返し曲げ試験を行った。この繰り返し曲げ試験は、1条件につき3回行った。得られた結果を、鋼中N含有量との関係で図1に示す。

【0017】同図に示したとおり、sol. Alを含有しない材料は、N含有量が 10ppmを超えると曲げ回数がほぼ0回となり、曲げ加工性が著しく劣化した。この点、sol. Alを約50ppm 含有させた場合は、N含有量が増加すると曲げ回数が若干減少したが、Nを約90ppm 含有する場合でも10回程度の良好な曲げ加工性を示した。これにより、sol. Alを微量含有させることで、N含有量の増加に起因した繰り返し曲げ回数の減少を抑制できることが明らかとなった。

【0018】そこで、sol. Alを微量含有させることによって、Nによる曲げ加工性の劣化を抑制できる理由を説明するために、上記で使用した試料の析出物を SEM および ED X で調査した。SEM観察面は、圧延方向に平行で圧延面に垂直な断面について、板厚 (mm) × 10mmの範囲にわたって調査した。その結果、sol. Alを微量含有している場合には少量の細かい析出物が観察されたが、sol. Alを含有していない試料では、1 ~ 4  $\mu m$  程度の粗大な析出物が多量生成しているのが観察された。この時観察された粗大析出物のSEM像を図2に示す。分析の結果、この粗大析出物はSiとNから形成されており、おそらく  $Si_3N_4$  であると考えられる。

【0019】そこで、次に、析出物の直径と曲げ加工性との関係について調査した。析出物の直径は SEM 観察

により上記範囲内で最大のものをその試料の析出物の直径とした。得られた結果を図3に示す。同図に示したとおり、析出物の直径が小さい場合には曲げ回数は多いが、直径が大きくなるに従い曲げ回数は減少し、直径が1  $\mu\text{m}$  を超える当たりから曲げ回数はほぼ0回となっている。この原因は、粗大析出物が曲げ加工性の際に割れの起点となり、曲げ加工性を劣化させているものと考えられる。

【0020】また、得られた鋼板の磁気特性を評価するために、鉄損W<sub>17/50</sub>（磁束密度：1.7 T、周波数：50 Hzでの鉄損）を測定し、その結果をN含有量との関係で図4に示す。同図から明らかのように、sol.Alを含有しない材料では、N含有量の増加に伴って鉄損が大きく劣化するが、sol.Alを約50ppm含有させた場合には、N含有量の増加による鉄損の劣化が少ない。

【0021】すなわち、sol.Alを微量含有させることで、N含有量の増加に伴う鉄損の劣化を抑制できることが明らかとなった。この理由は、sol.Alを含有しない材料においては、上記の調査から粗大な析出物が多量に生成していることが判っており、この析出物が励磁の際の磁壁移動を妨げて履歴損が増大したためと推定される。

【0022】これらの結果から、sol.Alを微量含有させることで、Nによる粗大析出物の生成が抑制され、曲げ加工性および鉄損の劣化を抑制できることが新たに究明された。sol.Alが微量含有させることで析出物の粗大化が抑制される理由は、sol.Alの存在により析出物の組成が変化して熱的に不安定になったものと推定されるが、詳細については明らかではない。

【0023】本発明によれば、従来の方向性電磁鋼板における不純物による曲げ加工性および鉄損劣化を抑制するための純化焼鈍を必要としない。また、純化焼鈍は通常、約1200°Cほどの高温でかつ長時間の焼鈍であるため、鋼中のsol.Alは鋼板表面で酸化されて酸不可溶性Alとなる。酸不可溶性Alでは窒化物形成を抑制しないので鋼板のN含有量増加による曲げ加工性および鉄損の劣化の抑制効果が発揮されない。従って、本発明では、sol.Alを確保するために、高温での純化焼鈍は避ける必要がある。ただし、sol.Al量の減少が顕著でない950°C以下の温度において、二次再結晶完了後、Nを含まないH<sub>2</sub>またはAr雰囲気へ切り替えることで鋼板中のN含有量を減少させることは、曲げ加工性と鉄損を改善させる上で有効である。また、高温純化焼鈍は上述したとおりコスト増および歪による製品欠陥が増大するため、高温純化焼鈍が必須であるインヒビターを使用する方向性電磁鋼板と比較すると、本発明のメリットは極めて大きい。

【0024】次に、本発明において、鋼板の成分組成を前記の範囲に限定した理由について説明する。

Si : 2.0 ~ 8.0 mass%

Siは、鋼の電気抵抗を高め、鉄損を改善するのに有用な元素であるが、含有量が2.0mass%に満たないとその添

加効果に乏しく、一方8.0%を超えると加工性が著しく低下し、また飽和磁束密度も低下するので、Siは2.0~8.0 mass%の範囲に限定した。

【0025】Mn : 3.0 mass%以下

Mnは、熱間加工性を改善するために有用な元素であるが、含有量が3.0%を超えると磁気特性が劣化するだけでなく、合金コスト高ともなるので、Mnは3.0mass%以下に限定した。なお、Mn量の好適下限値は0.005mass%である。

【0026】sol.Al : 10~100 ppm

sol.Alは、上述のとおり、鋼中の窒素による曲げ加工性の劣化を抑制するために必須の元素であるが、含有量が10ppm未満ではその効果に乏しく、一方100ppmを超えると窒化物の析出量が多くなって鉄損の著しい劣化を招くので、sol.Alは10~100 ppmの範囲で含有させるものとした。

【0027】N : 80 ppm以下

窒素が80ppmを超えると鉄損が著しく劣化するので、製品におけるN含有量は80 ppm以下限定した。

【0028】以上、必須成分および抑制成分について説明したが、本発明では、その他にも以下に述べる元素を適宜含有させることができる。

Sbおよび/またはSn : 0.005 ~ 0.50mass%

Sb, Snは、雰囲気による窒化の抑制に有効に寄与し、窒化物による曲げ加工性や鉄損の劣化を効果的に防止することができる。しかしながら、含有量が0.005mass%未満では窒化抑制効果が小さく、一方0.50mass%を超えると脆化が著しくなるので、これらは単独添加または複合添加いずれの場合も0.005~0.50mass%の範囲で含有させるものとした。

【0029】Ni : 0.005 ~ 1.50mass%、Cu : 0.01 ~ 0.50 mass%、P : 0.005 ~ 0.50mass%、Cr : 0.01 ~ 1.50mass%のうちから選んだ一種または二種以上

さらに、熱延板組織を改善して磁気特性を向上させるために、Niを添加することができる。しかしながら、含有量が0.005mass%未満では磁気特性の向上量が小さく、一方1.50mass%を超えると二次再結晶が不安定になり磁気特性が劣化するので、Ni量は0.005~1.50mass%とした。また、鉄損を改善する目的で、Cu, P, CrをそれぞれCu : 0.01 ~ 0.50mass%, P : 0.005 ~ 0.50mass%, Cr : 0.01 ~ 1.5 mass%の範囲で含有させることができ。それぞれ、含有量が下限値に満たない場合には鉄損の改善効果が小さく、一方上限量を超えると二次再結晶粒の発達が阻害される。

【0030】次に、本発明の電磁鋼板を製造する際の溶鋼成分を前記の範囲に限定した理由について説明する。

C : 0.08mass%以下

C量が0.08mass%を超えると、製造工程中に磁気時効の起こらない50ppm以下までCを低減することが困難になるので、C量は0.08mass%以下に制限した。なお、この

C量は、素材段階で50ppm以下まで低減しておくことが、再結晶焼鈍を乾燥雰囲気で行い脱炭を省略して平滑な製品表面を得る上で特に望ましいが、最終仕上焼鈍後、平坦化焼鈍時に低酸化性雰囲気で脱炭することも可能である。

【0031】sol.Al: 10~100 ppm、N: 50 ppm以下 良好に二次再結晶を発現させるためには、sol.Alを10~100 ppm、Nを50 ppm以下に低減する必要がある。二次再結晶を発現させるためのsol.Alの下限量は存在しないが、製品板にsol.Alを10ppm以上残存させ、上述したとおり曲げ加工性の劣化を抑制するために、素材のsol.Al量は10 ppm以上、好ましくは30ppm以上とするのが望ましい。

【0032】なお、インヒビタ形成元素であるS、Seについては50ppm以下、好ましくは30ppm以下に低減することが有利である。また、その他窒化物形成元素であるTi、Nb、B、Ta、V等はそれぞれ50ppm以下に低減することも鉄損の劣化を防ぎ、加工性を確保する上で有利である。

【0033】そして、鋼板表面にはフォルステライト質を主体とした下地被膜を有しないことが、良好な加工性を確保するための大前提である。

【0034】また、本発明では、鋼中に窒化物が粗大に析出すると、曲げ加工を施した場合にその析出物を起点として割れが発生するために、析出物の大きさは1 μm以下にする必要がある。この窒化析出物は微細であるほど割れが発生しにくいため、0.3 μm以下とすることが望ましい。また、かかる窒化析出物の大きさは全て1 μm以下とすることが最善ではあるが、個数比で窒化析出物全体の95%以上が直径: 1 μm以下であればほとんど遜色のない効果を得ることができた。そこで、本発明では、鋼板中に生成する窒化析出物について、個数比での95%以上が直径: 1 μm以下を満足する範囲に限定したのである。

【0035】次に、本発明の製造工程について説明する。上記の好適成分組成に調整した溶鋼を、転炉、電気炉などを用いる公知の方法で精錬し、必要があれば真空処理などを施したのち、通常の造塊法や連続鋳造法を用いてスラブを製造する。また、直接鋳造法を用いて100 mm以下の厚さの薄鋳片を直接製造してもよい。スラブは、通常の方法で加熱して熱間圧延するが、鋳造後、加熱せずに直ちに熱延に供してもよい。また、薄鋳片の場合には、熱間圧延を行っても良いし、熱間圧延を省略してそのまま以後の工程に進めてよい。なお、本発明は、インヒビターを用いない成分系であるため、インヒビターを固溶させる目的で行われている高温スラブ加熱を必要としない。従って、スラブ加熱温度は1300°C以下とすることがコストメリット上有利である。

【0036】ついで、必要に応じて熱延板焼鈍を施す。ゴス組織を製品板において高度に発達させたためには、

熱延板焼鈍温度は800°C以上、1050°C以下程度とするのが好適である。というのは、熱延板焼鈍温度が800°C未満では、熱延でのバンド組織が残留し、一方1050°Cを超えると、熱延板焼鈍後の粒径が粗大化しそうで、それ故に製品板のゴス組織の発達が低下し、磁束密度が低下するからである。

【0037】その後、1回または中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延を施す。この時、圧延温度が100~250°Cの温間圧延とすることが磁気特性を向上させる上で好適である。

【0038】最終冷延後、再結晶焼鈍を行う。この再結晶焼鈍に際しては、露点が0°C以下の非酸化性雰囲気を使用して、表面酸化物の生成を極力抑制することが平滑な表面を保ち、かつ良好な加工性を得る上で好ましい。

【0039】その後、必要に応じて焼鈍分離剤を適用するが、適用する場合にはフォルステライトを形成するMgOは使用せず、シリカやアルミナ等を用いる。また、塗布を行う際にも、水分を持ち込まぬ酸化物生成を抑制する目的で静電塗布を行うことなどが有効である。さらに、耐熱無機材料シート（シリカ、アルミナ、マイカ）を用いてもよい。

【0040】その後、二次再結晶を発現させるために仕上焼鈍を施す。この仕上焼鈍において、最高到達温度が800°Cに満たないと二次再結晶が良好に発現せず、一方950°Cを超えると鋼板中のsol.Alが表面酸化により著しく減少し、曲げ加工性が大きく劣化するので、仕上焼鈍における最高到達温度は800°C以上950°C以下の範囲に限定した。

【0041】仕上焼鈍後には、平坦化焼鈍を行い張力を付加して形状を矯正することが鉄損低減のために有効である。なお、鋼板を積層して使用する場合には、鉄損を改善するために、平坦化焼鈍後、鋼板表面に絶縁コーティングを施すことが有効である。良好な打ち抜き性を確保するためには、樹脂を含有する有機系コーティングが望ましいが、溶接性を重視する場合には無機系コーティングを適用しても良い。

【0042】本発明の電磁鋼板は、酸化被膜をほとんど有しないために、有機系コーティングを適用した場合には、良好な打ち抜き性が確保される。従って、分割用モータコアやE Iコア等の打ち抜き加工を施す材料にも好適である。

【0043】

【実施例】実施例1

表1に示す成分組成になる鋼スラブを、連続鋳造にて製造したのち、1100°Cで20分間のスラブ加熱後、熱間圧延により板厚: 2.8 mmの熱延板とした。ついで、900°Cで30秒の熱延板焼鈍後、冷間圧延により板厚: 0.35mmの最終冷延板に仕上げたのち、950°Cで10秒の再結晶焼鈍を施した。その後、焼鈍分離剤を塗布することなく、窒素雰囲気中に900°C、75時間の仕上焼鈍を施した。つい

で、窒素雰囲気中にて 850°C、15秒の平坦化焼鈍を施したのち、鋼板にアクリル系樹脂および酢酸エチルを主体とした有機コーティングを塗布し、焼付けて製品とした。

【0044】仕上焼鈍後の鋼板中におけるsol.Al量とN量を測定した。また、得られた鋼板の加工性を評価するために、30×300mm のサイズに剪断したのち、JIS規格 (JIS C 2550) に準じて繰り返し曲げ試験を行った。この試験では、1条件について5回の測定を行い、最も

回数が少ない値をその条件での試験結果とした。さらに、鋼板の磁気特性を評価するために  $W_{17/50}$  (磁束密度: 1.7 T、周波数: 50Hzでの鉄損) および  $B_8$  (磁化力: 800A/mでの磁束密度) を測定した。またさらに、断面のSEM観察およびEDX分析により析出物の直径とその組成を調査し、直径が1μm以下の窒化物の比率を表示した。得られた結果を表2に示す。

## 【0045】

【表1】

鋼 記号	成 分 相 成 (mass%, ppm)								備 考
	C	Si	Mn	sol.Al	N	O	S	その他	
A	0.0023	2.44	0.15	40	25	20	20	—	発明例
B	0.0032	3.21	0.05	51	43	17	120	—	"
C	0.0043	3.29	2.35	73	23	13	150	—	"
D	0.0020	3.30	1.24	39	11	13	210	—	"
E	0.0037	3.25	0.12	6	10	12	10	—	比較例
F	0.0028	3.21	0.09	210	42	15	140	—	"
G	0.0033	3.19	0.10	77	76	16	200	—	"
H	0.0021	3.32	0.17	35	21	18	22	Ni: 0.043	発明例
I	0.0015	3.40	0.16	62	24	10	40	Cu: 0.10	"
J	0.0031	3.35	0.06	60	12	17	35	P: 0.020	"
K	0.0030	3.38	0.28	41	21	13	110	Cr: 0.35	"

表中、sol.Al, N, O, S は ppm 表示。

## 【0046】

【表2】

鋼 記号	仕上焼鈍後の成分		1μm 以下の 窒化物の比率 (%)	析出物 組成	繰り返し 曲げ試験 (回数)	$W_{17/50}$ (W/kg)	$B_8$ (T)	備 考
	sol.Al (ppm)	N (ppm)						
A	35	43	97	AlN	23	1.18	1.86	発明例
B	45	72	96	"	18	1.22	1.84	"
C	70	30	100	"	32	1.30	1.83	"
D	33	36	99	"	21	1.21	1.84	"
E	3	31	20	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0	1.43	1.79	比較例
F	158	49	86	AlN	2	2.34	1.61	"
G	69	90	57	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	2	2.17	1.59	"
H	31	25	99	AlN	31	0.95	1.98	発明例
I	57	31	100	"	27	1.10	1.88	"
J	56	20	100	"	40	1.12	1.87	"
K	35	24	100	"	25	1.15	1.88	"

【0047】表2から明らかなように、本発明を満足する成分系では、良好な曲げ加工性および磁気特性が得られている。これに対し、鋼E, Gでは、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>を主体とした粗大な窒化物が析出したため、曲げ加工性が劣化している。また、鋼Fは、AlNを主体とした析出物ではあったが、sol.Al量に比例して、析出物の絶対量が増大し

たため、鉄損の著しい劣化を招いた。

## 【0048】実施例2

C: 0.0036mass%, Si: 3.44mass%, Mn: 0.06mass%, Sb: 0.015 mass%, sol.Al: 0.0044 mass%およびN: 0.0030mass%を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物の組成になる鋼Iと、C: 0.0032mass%, Si: 3.30mass

%, Mn : 0.07mass%, Sn : 0.010 mass%, sol.Al : 0.0038mass%およびN : 0.0032mass%を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物の組成になる鋼Mのスラブを、連続鋳造にて製造したのち、1050°Cに加熱後、熱間圧延により2.6mmの熱延板とした。ついで、925°Cで60秒の熱延板焼純後、冷間圧延により0.35mmの最終板厚に仕上げたのち、925°Cで10秒の再結晶焼純を施した。その後、SiO<sub>2</sub>を主成分とする焼純分離剤を塗布してから、25vol%H<sub>2</sub> + 75vol%N<sub>2</sub> 霧囲気中にて75時間の仕上焼純を施した。その際、最高到達温度を表3に示すように種々に変化させた。ついで、25vol%H<sub>2</sub> + 75vol%N<sub>2</sub> 霧囲気中に

て870°C、15秒の平坦化焼純を施したのち、鋼板にアクリル系樹脂および酢酸エチルを主体とした有機コーティングを塗布し、焼付けて製品とした。

【0049】得られた製品板について、実施例1と同様にして、鋼板中におけるsol.Al量とN量、繰り返し曲げ回数、W<sub>17/50</sub>、B<sub>8</sub>、直徑が1μm以下の窒化析出物の比率とその組成について調査した。得られた結果を表3に併記する。

【0050】

【表3】

鋼記号	仕上焼純最高到達温度(°C)	N含有量(ppm)	sol.Al含有量(ppm)	1μm以下の窒化物の比率(%)	析出物組成	繰り返し曲げ試験(回数)	W <sub>17/50</sub> (W/kg)	B <sub>8</sub> (T)	備考
L	800	41	41	99	AlN	36	1.28	1.84	発明例
"	850	43	40	100	"	32	1.26	1.85	"
"	900	52	37	98	"	28	1.19	1.89	"
"	950	59	25	98	"	22	1.10	1.91	"
"	1000	81	6	32	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	8	1.78	1.83	比較例
"	1050	96	5	41	"	7	1.84	1.80	"
"	1100	118	5	22	"	5	1.81	1.71	"
M	800	36	37	100	AlN	32	1.30	1.82	発明例
"	850	41	34	100	"	21	1.25	1.84	"
"	900	47	25	97	"	20	1.20	1.86	"
"	950	51	18	95	"	19	1.14	1.88	"
"	1000	92	9	17	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	1	1.67	1.80	比較例
"	1050	137	6	9	"	0	1.84	1.78	"
"	1100	289	6	7	"	0	2.01	1.74	"

【0051】同表から明らかなように、本発明に従う適正条件下で製造した場合には、良好な曲げ加工性および磁気特性を得ることができた。これに対し、鋼L, Mいずれにおいても、仕上焼純最高到達温度が950°Cを超えると、sol.Al含有量は著しく減少して10ppm未満となり、また窒化物がSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>主体となって大きくなるため、曲げ加工性および鉄損が劣化した。

【0052】実施例3

C : 0.0480mass%, Si : 3.25mass%, Mn : 0.16mass%, Sb : 0.110 mass%, sol.Al : 0.0040mass%およびN : 0.0027mass%を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物の組成になる鋼Nと、C : 0.0520mass%, Si : 3.56mass%, Mn : 0.15mass%, sol.Al : 0.0095mass%およびN : 0.0018mass%を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物の組成になる鋼Oのスラブを、連続鋳造にて製造したのち、1150°Cに加熱後、熱間圧延により2.8mmの熱延板とした。ついで、925°Cで60秒の熱延板焼純後、一回目の

冷間圧延により0.85mmの板厚とし、1050°Cで10秒の中間焼純後、二回目の冷間圧延により0.30mmの最終板厚に仕上げた。その後、露点: 45°Cの湿潤霧囲気中にて910°C、10秒の再結晶焼純を施して脱炭したのち、焼純分離剤を塗布することなく、窒素霧囲気中にて75時間の仕上焼純を施した。その際、最高到達温度を表4に示すように種々に変化させた。ついで、窒素霧囲気中にて900°Cで10秒の平坦化焼純を施したのち、鋼板にアクリル系樹脂および重クロム酸塩を主体とした有機-無機コーティングを塗布し、焼付けて製品とした。

【0053】得られた製品板について、実施例1と同様にして、鋼板中におけるsol.Al量とN量、繰り返し曲げ回数、W<sub>17/50</sub>、B<sub>8</sub>、直徑が1μm以下の窒化析出物の比率とその組成について調査した。得られた結果を表4に併記する。

【0054】

【表4】

鋼記号	仕上焼鈍最高到達温度(℃)	N含有量(ppm)	sol. Al含有量(ppm)	1 μm以下の窒化物の比率(%)	析出物組成	繰り返し曲げ試験(回数)	W <sub>17/150</sub> (W/kg)	B <sub>1</sub> (T)	備考
N	800	44	43	100	AlN	32	1.17	1.85	発明例
"	850	43	39	100	"	30	1.14	1.85	"
"	900	51	34	99	"	26	1.09	1.87	"
"	950	55	22	96	"	19	1.02	1.88	"
"	1000	76	7	82	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	6	1.80	1.85	比較例
"	1050	91	7	27	"	3	1.85	1.80	"
"	1100	139	5	14	"	4	1.84	1.76	"
O	800	22	91	100	AlN	22	1.20	1.84	発明例
"	850	35	80	100	"	19	1.19	1.83	"
"	900	50	62	100	"	20	1.16	1.87	"
"	950	72	48	98	"	13	1.11	1.88	"
"	1000	189	16	17	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0	1.97	1.83	比較例
"	1050	364	5	9	"	0	2.05	1.75	"
"	1100	522	6	13	"	0	2.12	1.70	"

【0055】同表に示したとおり、本発明に従う適正条件下で製造した場合には、良好な曲げ加工性および磁気特性を得ることができた。これに対し、鋼N、Oいずれにおいても、仕上焼鈍到達温度が950℃を超えた場合にはsol. Al含有量は著しく減少して10ppm未満となり、また窒化物がSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>主体となって大きくなるために、曲げ加工性および磁気特性が劣化した。なお、特に900℃以上の高温において、Sbを含有する鋼NはSbを含有しない鋼Kに比べて窒化が抑制されている。

#### 【0056】

【発明の効果】かくして、本発明に従い、インヒビター成分を有しない高純度材を素材とし、製品板において微量のsol. Alを含有させることにより、鋼中のNに起因し

た曲げ加工性や鉄損の劣化を効果的に防止した方向性電磁鋼板を安定して得ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

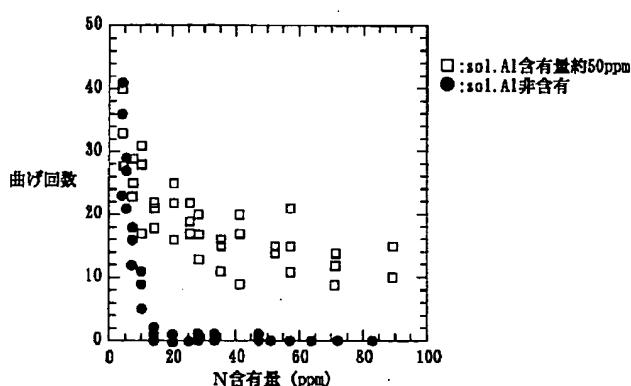
【図1】 sol. Al含有量が異なる素材における、鋼中のN含有量と繰り返し曲げ回数との関係を示した図である。

【図2】 鋼中の粗大析出物のSEM像を示す図面代用写真である。

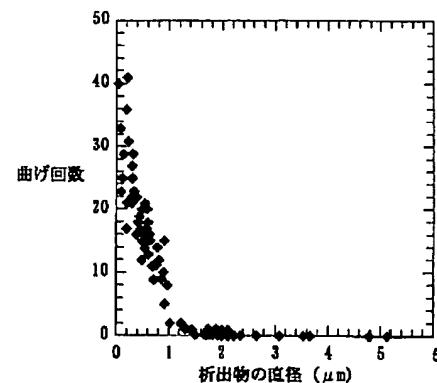
【図3】 鋼中の析出物の最大直径と繰り返し曲げ回数との関係を示した図である。

【図4】 sol. Al含有量が異なる素材における、鋼中のN含有量と鉄損との関係を示した図である。

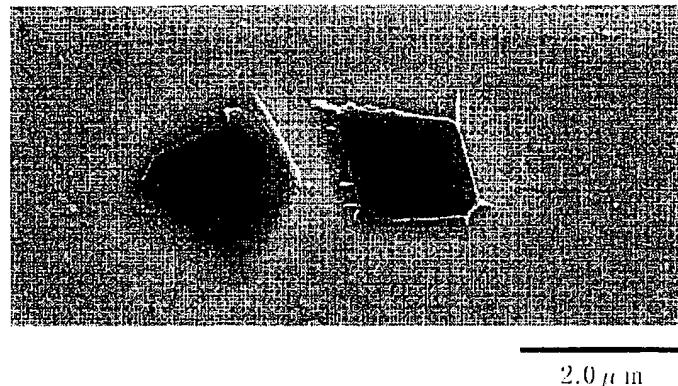
【図1】



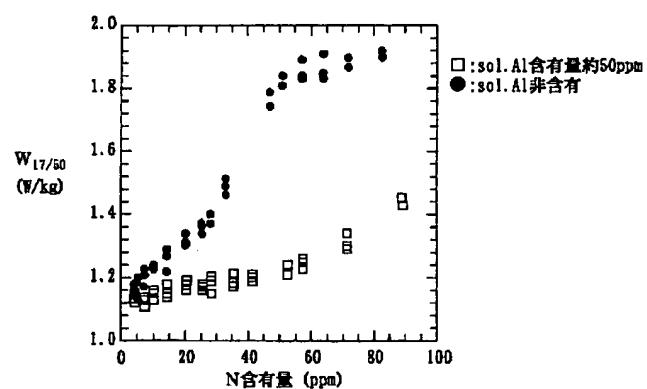
【図3】



【図2】



【図4】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.7  
H01F 1/16

識別記号

F I  
H01F 1/16

コード(参考)  
B

(72) 発明者 岡部 誠司  
岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし)  
川崎製鉄株式会社水島製鉄所内

(72) 発明者 黒沢 光正  
岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし)  
川崎製鉄株式会社水島製鉄所内

Fターム(参考) 4K033 RA04 SA03 TA00 TA01  
5E041 AA02 CA04 HB11 HB15 HB19  
NN01 NN18